

# 書き込み・読み出しを考慮した

## SCM/NAND フラッシュハイブリッド SSD システム

山田 知明<sup>1</sup> 岡本 峻<sup>1</sup> 孫 超<sup>1</sup> 蜂谷 尚悟<sup>1</sup> 竹内 健<sup>1</sup>

書き込み動作だけでなく読み出し動作をも考慮した SCM/NAND フラッシュハイブリッド SSD 向けデータマネジメントアルゴリズムを提案する。様々なデータアクセスパターンの実ワークロードを用いて、ハイブリッド SSD の性能のデータパターン依存性と SCM 容量依存性を評価した。提案手法では、読み出しが支配的でホットかつランダムなワークロードで高い性能が得られた。

### 1. はじめに

近年、Internet of Things (IoT)やビッグデータ活用など、大量のデータを効率よく高速に処理する必要性が高まっており、データセンタでは、hard disk drives (HDD)に比べて、高速かつ低電力である solid-state drives (SSD)が用いられている。また、更なる高速化を求めて DRAM のように高速で、かつ NAND フラッシュのように大容量な次世代メモリである Storage Class Memory (SCM)が注目されている。本論文では、NAND フラッシュメモリベースの SSD に SCM を搭載したハイブリッド SSD において、書き込み、読み出し動作の両方を考慮したデータマネジメントアルゴリズムを提案し、ハイブリッド SSD の性能のアプリケーション依存性と SCM/NAND フラッシュの容量比依存性を評価した。

### 2. ハイブリッド SSD における読み出し動作を考慮したデータマネジメントアルゴリズム

本論文で評価するアルゴリズムは 3 つあり、write back (WB)キャッシュ[2], write optimized data management (WO-DM)[1], 提案する read write balanced data management (RWB-DM)である。頻繁にアクセスされるデータをホットデータ、NAND フラッシュメモリの書き込みサイズよりも小さいデータをランダムデータとし、その反対をそれぞれコールド、シーケンシャルと定義する。各アルゴリズムでは、上記に加えて、リクエストが書き込みまたは読み出しかによって、データを分類し動作を決定する。WB では図 1(a)のようなハイブリッド SSD 構造であり、図 2(a)のように、WB では書き込みリクエストは全て SCM へ書き込まれ、読み出しリクエストは、データが存在する SCM または NAND フラッシュから読み出される。NAND フラッシュから読み出された場合は、データを SCM にコピーする。そのため、書き込み、読み出しのホットデータが SCM に保存される。また、従来の WB

は揮発性キャッシュを用いるため、瞬停時のデータの損失を防ぐために定期的にキャッシュ内のデータをストレージに退避させる必要があるが、本論文での WB では不揮発性キャッシュを用いるため、データを退避させる必要がなく永続的にキャッシュ内にデータを保存させることが出来るため、ストレージのように用いられる。

続いて、WO-DM は WB とは異なり、図 1(b)のように SCM をストレージとして用いる。書き込みリクエストはコールドかつシーケンシャルデータのみ NAND フラッシュメモリに書き込まれ、その他は全て SCM に保存される。また、読み出しリクエストの際にデータの移動はない。

最後に、提案する RWB-DM は WO-DM と同様に SCM をストレージとして用いている。WO-DM と異なる点は図 2(b,c)のように読み出し動作においてもデータの移動が起こる点である。RWB-DM では書き込みのホットまたはランダムデータだけでなく、読み出しのホットまたはランダムデータも SCM に保存される。

### 3. ハイブリッド SSD の性能評価

#### 3.1 アプリケーション依存性

図 3 のようにワークロード[3]を書き込み、読み出しのリクエスト数、ホットまたはコールド、ランダムまたはシーケンシャルの 3 つの要素から計 8 つに分類した。ランダム、シーケンシャルの境界は 8KB としたところ、カテゴリ 6 に該当するワークロードは存在しなかった。TLM (Transaction Level Modeling)ベースの SSD エミュレータ[1]を用いて、図 3 の 7 つのカテゴリからそれぞれ 1 つずつワークロードを選び、ハイブリッド SSD の性能を評価した。なお、SCM/NAND フラッシュの容量比は 3%とした。図 4 のように、書き込みが支配的なワークロードでは、WO-DM が最も優れており、読み出しが支配的なワークロードでは、prxy\_1, proj\_3 でそれぞれ、RWB-DM, WB が優れている

<sup>1</sup> 中央大学理工学部

とわかる。prxy\_1 は読み出しが支配的であり、ホットかつランダムであるワークロードであるため、RWB-DMにおいて、書き込みだけでなく読み出しのホットかつランダムデータがSCMに保存されるため、高い性能が得られたと考えられる。

### 3.2 SCM/NAND フラッシュ容量比依存性

ハイブリッドSSDの性能はアプリケーションだけではなくSCMの容量にも依存する[2]。カテゴリ5(読み出しが支配的でホットかつランダムワークロード)におけるハイブリッドSSDの性能を図5に示す。SCM/NAND容量比が1%と3%以降では、それぞれWBとRWB-DMで最も性能が良く、SCMの容量によって最適なアルゴリズムが異なることがわかる。また、全てのアルゴリズムにおいて、5%ほどでハイブリッドSSDの性能が飽和していることがわかり、それ以上SCM容量を増やしても、性能は向上しないとわかる。各SCM/NAND容量比における最も性能が高いアルゴリズムを表1にまとめた。RWB-DMは読み出しが支配的でホットかつランダムであるワークロードにおいて最適であるとわかる。また、カテゴリ1、カテゴリ2のワークロードにおいて、SCM/NANDフラッシュ容量比

が75%, 100%の場合にはRWB-DMが最適である。これは、読み出しのホットかつランダムデータもSCMに保存することが出来るため、RWB-DMが最適となったと考えられる。

### 4. 結論

ハイブリッドSSDにおける書き込み、読み出し動作を考慮したデータマネジメントアルゴリズムを提案した。高い性能を得られるアルゴリズムはSCMの容量やデータアクセスパターンに依存し、提案アルゴリズムは読み出しが支配的でホットかつランダムであるワークロードにおいて最適であるとわかった。

### 謝辞

本研究の一部はNEDOの助成によって行われました。

### 参考文献

- [1] C. Sun et al., "A High Performance and Energy-Efficient Cold Data Eviction Algorithm for 3D-TSV Hybrid ReRAM/MLC NAND SSD", TCAS-I, vol 61, no 2, 2014
- [2] S. Okamoto et al., "Application Driven SCM&NAND Flash Hybrid SSD Design for Data-centric computing System", IEEE International Memory Workshop, pp. 157-160, 2015
- [3] MSR Cambridge Traces, <http://iotta.snia.org/traces/388>.

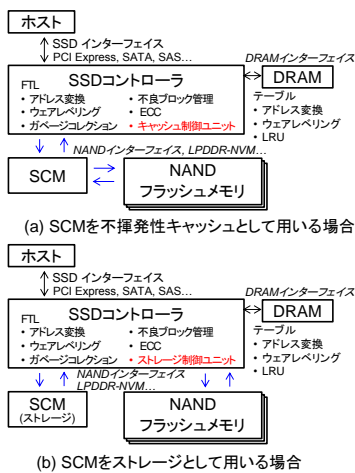


図1 ハイブリッドSSD構成図[2]

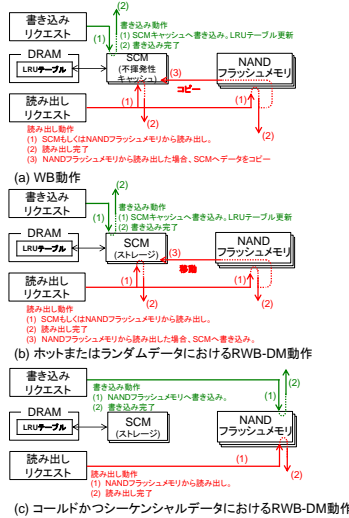


図2 アルゴリズムの書き込み、読み出し動作[2]

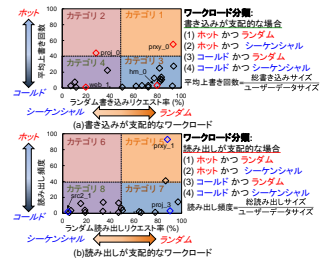


図3 ワークロード分析[2]

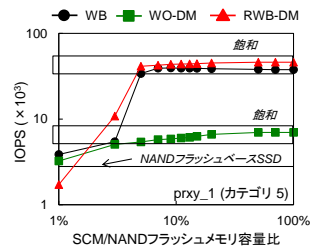


図5 SCM容量依存性[2]

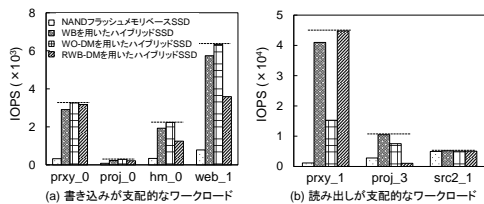


図4 ハイブリッドSSD性能[2]

表1 アルゴリズム比較[2]

SCM/NAND容量比	書き込みが支配的なワークロード				読み出しが支配的なワークロード			
	1 (ホットランダム)	2 (ホットシーケンシャル)	3 (コールドランダム)	4 (コールドシーケンシャル)	5 (コールドランダム)	7 (コールドランダム)	8 (シーケンシャル)	
3%	WO-DM	WO-DM	WO-DM	大差なし	RWB-DM	WB	大差なし	
25%	WO-DM	WO-DM	WO-DM	大差なし	RWB-DM	WB	WB	
75%	RWB-DM	RWB-DM	WB	WB	RWB-DM	WB	WB	
100%	RWB-DM	WB	WB	WB	RWB-DM	WB	WB	